



⑩ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑪ **DE 100 06 257 A 1**

⑤ Int. Cl. 7:  
**H 01 L 29/786**  
H 01 L 51/20  
H 01 L 51/30

⑳ Aktenzeichen: 100 06 257.1  
㉑ Anmeldetag: 11. 2. 2000  
㉒ Offenlegungstag: 14. 9. 2000

DE 100 06 257 A 1

③① Unionspriorität:  
261616 03. 03. 1999 US  
⑦① Anmelder:  
IBM Corp., Armonk, N.Y., US  
⑦④ Vertreter:  
Taufel, F., Dipl.-Phys., Pat.-Anw., 70569 Stuttgart

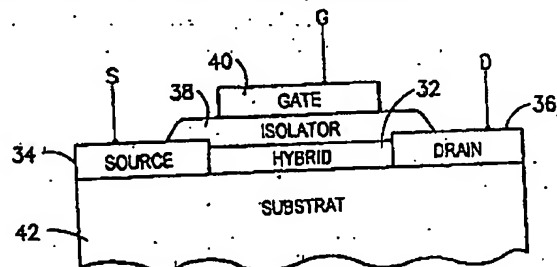
⑦② Erfinder:  
Chondroudis, Konstantinos, North White Plains,  
N.Y., US; Dimitrakopoulos, Christos D., West  
Harrison, N.Y., US; Kagan, Cherie R., Ossining, N.Y.,  
US; Kymissis, Ioannis, New Hyde Park, N.Y., US

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Dünnschichttransistoren mit organisch-anorganischen Hybridmaterialien als halbleitende Kanäle

⑤⑦ Eine FET-Struktur gemäß der Erfindung verwendet ein organisch-anorganisches Hybridmaterial als halbleitenden Kanal zwischen Source- und Drain-Elektroden des Bauelements. Das organisch-anorganische Material kombiniert die Vorteile eines anorganischen, kristallinen Feststoffes mit jenen eines organischen Materials. Die anorganische Komponente bildet ein ausgedehntes, anorganisches ein-, zwei- oder dreidimensionales Netzwerk, um die Eigenschaft hoher Trägerbeweglichkeiten von anorganischen, kristallinen Feststoffen bereitzustellen. Die organische Komponente erleichtert den Selbstaufbau dieser Materialien und ermöglicht, daß die Materialien durch einfache Niedertemperatur-Prozessbedingungen aufgebracht werden können, wie Aufschleudern, Eintauchbeschichtung oder thermische Verdampfung. Die organische Komponente wird außerdem dazu verwendet, die elektronischen Eigenschaften des anorganischen Netzwerkes maßzuschneidern, indem sie die Dimensionalität der anorganischen Komponente und die elektronische Kopplung zwischen anorganischen Einheiten definiert.



DE 100 06 257 A 1

## GEBIET DER ERFINDUNG

Diese Erfindung bezieht sich auf Dünnschicht-Feldeffekttransistorstrukturen (thin film field effect transistor structures) und speziell auf solche Transistorstrukturen, die organisch-anorganische Hybridmaterialien als halbleitende Kanäle darin verwenden.

## HINTERGRUND DER ERFINDUNG

Dünnschichttransistoren (thin film transistors), bekannt als TFTs, werden vielfach als Schaltelemente in der Elektronik verwendet, insbesondere für großflächige Anwendungen, wie Flüssigkristallanzeigen mit aktiver Matrix. Der TFT ist ein Beispiel für einen Feldeffekttransistor (FET: field effect transistor). Der am besten bekannte FET ist der MOSFET (Metall-Oxid-Halbleiter-FET) (Metal-Oxide-Semiconductor-FET), das herkömmliche Schaltelement von heute für elektronische Hochgeschwindigkeitsanwendungen. Während sich der MOSFET speziell auf  $\text{SiO}_2$ /Volumen-Si-Transistoren bezieht, sind allgemeinere Kombinationen von Metall-Isolator-Halbleitern als MISFETs bekannt. Der TFT ist ein MISFET, bei dem die aktive Halbleiterschicht als Dünnschicht aufgebracht ist.

Gegenwärtig werden TFTs in den meisten Bauelementen unter Verwendung von amorphem Silicium als dem Halbleiter hergestellt. Amorphes Silicium stellt eine billigere Alternative gegenüber kristallinem Silicium bereit – eine notwendige Bedingung für eine Reduzierung der Kosten von Transistoren, die in großflächigen Anwendungen verwendet werden. Die Anwendung von amorphem Silicium ist auf Bauelemente mit geringeren Geschwindigkeiten beschränkt, da seine Beweglichkeit,  $10^{-1} \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$ ,  $15.000 \times$  kleiner als jene von kristallinem Silicium ist. Wenngleich amorphes Silicium kostengünstiger aufzubringen ist als kristallines Silicium, erfordert die Deposition von amorphem Silicium dennoch kostspielige Prozesse, wie plasmaunterstützte chemische Gasphasenabscheidung (plasma enhanced chemical vapour deposition).

In der letzten Zeit haben organische Halbleiter Beachtung als potentielle Halbleiterkomponenten für TFTs gefunden. Siehe zum Beispiel US-Patent 5 347 144 für Garnier et al. mit dem Titel "Thin-Layer Field Effect Transistors With MIS Structure Whose Insulator and Semiconductor Are Made of Organic Materials". Organische Materialien (z. B. kleine Moleküle, kurzkettige Oligomere und Polymere) können eine weniger kostenintensive Alternative zu anorganischen Materialien für TFT-Strukturen sein, da sie durch Verfahren wie Aufschleudern (spin-coating), Eintauchbeschichtung (dip-coating) aus einer Lösung, thermische Verdampfung (thermal evaporation) oder Siebdruck (screen printing) einfacher herzustellen sind. Wenngleich die Beweglichkeiten von organischen Materialien verbessert wurden, sind ihre Beweglichkeiten dennoch weiterhin gering, und lediglich die besten Materialien weisen Beweglichkeiten auf, die jenen von amorphem Silicium nahekommen.

Organische Halbleiter sind weniger teuer und leichter aufzubringen als herkömmliches, amorphes Silicium. Derartige organische Materialien sind entweder kleine Moleküle (z. B. Pentacen, Metall-Phthalocyanine), kurzkettige Oligomere (z. B. n-Thiophene mit  $n = 3$  bis 8), oder langkettige Polymere (z. B. Polyalkylthiophene oder Polyphenylvinylene). Ein atomares orbitales Überlappen zwischen benachbarten, mehrfach gebundenen Atomen, bekannt als Konjugation, ermöglicht den Transport von Ladung entlang von Molekülen, Oligomeren und Polymeren. Ein molekula-

res orbitales Überlappen zwischen benachbarten Molekülen ermöglicht einen intermolekularen Ladungstransport.

Dünne Filme aus kleinen Molekülen oder kurzkettigen Oligomeren zeigen die höchsten Beweglichkeiten für organische Materialien. Die kleinen Moleküle/kurzkettigen Oligomere, die diese hohen Beweglichkeiten zeigen, wurden durch thermische Verdampfung aufgebracht, wobei sie als hochgradig geordnete Dünnschichten abgeschieden werden. Der hohe Grad an Ordnung in den Filmen liefert eine orbitale Überlappung und daher einen Ladungstransport zwischen benachbarten Molekülen. Langkettige Polymere sind vorteilhaft, da sie löslicher sind, was eine Deposition durch preiswerte Techniken, wie Aufschleudern und Eintauchbeschichtung, ermöglicht, sie weisen jedoch geringere Beweglichkeiten auf, da sie ungeordnet sind.

Wenngleich organische Materialien die Möglichkeit der Aufbringung von Halbleitern für TFTs durch kostengünstigere und einfachere Depositionstechniken eröffnen, wie thermische Verdampfung, Aufschleudern und Eintauchbeschichtung, sind ihre Beweglichkeiten dennoch geringer als erwünscht. Typische Beweglichkeiten für kleine Moleküle/kurzkettige Oligomere liegen im Bereich von  $10^{-3} \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$  bis  $10^{-1} \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$ , und für langkettige Polymere liegen sie im Bereich von  $10^{-8} \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$  bis  $10^{-2} \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$ . Die höchsten Beweglichkeiten, die berichtet wurden, sind  $0,7 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$  für Dünnschichten aus Pentacen und  $0,13 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$  für Dünnschichten aus Dihexyl- $\alpha$ -sexithiophen. Eine Beweglichkeit von  $0,3 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$ , die für einkristallines  $\alpha$ -Sexithiophen gemessen wurde, repräsentiert die Obergrenze der Beweglichkeit für dieses Material. Die Beweglichkeiten von organischen Halbleitern konkurrieren mit jenen von amorphem Silicium.

Organisch-anorganische Hybridmaterialien sind eine bestimmte Klasse von Materialien, die das Kombinieren der nützlichen Eigenschaften von organischen und anorganischen Komponenten innerhalb eines einzigen Materials ermöglichen. Einige Elemente dieser Klasse von Materialien zeigen halbleitende Eigenschaften. Für die Zwecke dieser Beschreibung ist ein organisch-anorganisches Hybridmaterial ein Material, das besteht aus: organischen Komponenten und anorganischen Komponenten, die auf einem molekularen Niveau zusammengemischt werden, wobei (i) das Material durch ein im wesentlichen festes Verhältnis von jeder organischen Komponente zu jeder anorganischen Komponente charakterisiert ist; wobei (ii) wenigstens eine Komponente halbleitend ist; und wobei (iii) sowohl organische als auch anorganische Komponenten Kräfte zeigen, die einen Selbstaufbau zwischen diesen in eine vorhersagbare Anordnung ermöglichen.

Ein Beispiel für ein organisch-anorganisches Hybridmaterial besitzt die Form einer organisch-anorganischen Perovskit-Struktur. Geschichtete Perovskite bilden natürlicherweise eine Quantenmuldenstruktur, bei der eine zweidimensionale Halbleiterschicht aus Metall-Halogenid-Oktäedern mit gemeinsamen Ecken und eine organische Schicht abwechselnd gestapelt sind.

Für die Herstellung derartiger organisch-anorganischer Hybridmaterialien sind Aufschleuder-Techniken geeignet, da viele organisch-anorganische Perovskite in herkömmlichen wässrigen oder organischen Lösungsmitteln löslich sind. Unter Verwendung dieses Verfahrens wurden geschichtete Perovskit-Dünnschichten mit hoher Orientierung und hoher Qualität erzielt. Außerdem wurden Vakuum-Aufdampfungsverfahren verwendet, um Filme aus geschichteten Perovskiten aufzuwachsen. Die gleichzeitig anhängige US-Patentanmeldung, Seriennr. 192 130 mit dem Titel "Single-Source Thermal Ablation Method for Depositing Organic-Inorganic Hybrid Films" und die US-Patentanmel-

dung Nr. 5 871 579 mit dem Titel "Two-Step Dipping Technique for the Preparation of Organic-Inorganic Perovskite Thin Films", die auf den Anmelder dieser Anmeldung übertragen wurden, beziehen sich beide auf alternative Depositionsverfahren für organisch-anorganische Hybridmaterialien. Die Offenbarung der zuvor erwähnten Anmeldungen wird hierin durch Verweis aufgenommen.

Demgemäß besteht eine Aufgabe dieser Erfindung darin, eine verbesserte FET-Struktur bereitzustellen, die ein organisch-anorganisches Hybridmaterial als halbleitenden Kanal verwendet.

Eine weitere Aufgabe dieser Erfindung besteht in der Bereitstellung einer verbesserten FET-Struktur, die mit geringen Kosten gefertigt werden kann.

### ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

Eine FET-Struktur gemäß der Erfindung verwendet ein organisch-anorganisches Hybridmaterial als den halbleitenden Kanal zwischen Source- und Drainelektrode des Bauelements. Das organisch-anorganische Material kombiniert die Vorteile eines anorganischen, kristallinen Feststoffs mit jenen eines organischen Materials. Die anorganische Komponente bildet ein ausgedehntes, anorganisches ein-, zwei- oder dreidimensionales Netzwerk, um die Eigenschaft hoher Trägerbeweglichkeiten von anorganischen, kristallinen Feststoffen bereitzustellen. Die organische Komponente erleichtert den Selbstaufbau dieser Materialien und ermöglicht es, daß die Materialien durch einfache Niedertemperatur-Prozeßbedingungen, wie durch Aufschleudern, Eintauchbeschichtung oder thermische Verdampfung, aufgebracht werden. Die organische Komponente wird außerdem dazu verwendet, die elektronischen Eigenschaften des anorganischen Netzwerks maßzuschneidern, indem sie die Dimensionalität der anorganischen Komponente und die elektronische Kopplung zwischen anorganischen Einheiten definiert.

### KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Fig. 1 stellt die Struktur eines Beispiels eines organisch-anorganischen Hybridmaterials dar, in diesem Fall basierend auf der Perovskit-Struktur.

Fig. 2 ist ein Röntgenbeugungsmuster (X-ray diffraction pattern) eines Phenethylammonium-Zinniodid( $(\text{PEA})_2\text{SnI}_4$ )-Films, der durch Aufschleudern in einer TFT-Bauelementstruktur aufgebracht wurde.

Fig. 3 ist eine Querschnittsansicht einer ersten TFT-Struktur, in die ein organisch-anorganisches Hybridmaterial als halbleitender Kanal eingebaut ist.

Fig. 4 ist eine Querschnittsansicht einer zweiten TFT-Struktur, in die ein organisch-anorganisches Hybridmaterial als halbleitender Kanal eingebaut ist.

Fig. 5 ist eine graphische Darstellung von  $I_{DS}$  in Abhängigkeit von  $V_{DS}$  für einen TFT mit dem organisch-anorganischen Hybridmaterial  $(\text{PEA})_2\text{SnI}_4$  als dem aktiven Halbleitermaterial.

Fig. 6 ist eine graphische Darstellung von  $I_{DS}$  in Abhängigkeit von  $V_{DS}$  für einen TFT mit dem organisch-anorganischen Hybridmaterial  $(\text{PEA})_2\text{SnI}_4$  als dem aktiven Halbleitermaterial, das die besten bis heute erreichten Charakteristika zeigt.

Fig. 7 ist eine graphische Darstellung von  $I_{DS}$  in Abhängigkeit von  $V_{DS}$  für einen TFT mit dem organisch-anorganischen Hybridmaterial, das ein Alkyldiammonium-Kation (d. h.  $\text{BDASnI}_4$  (Butyldiammoniumzinniodid)) als das aktive Halbleitermaterial enthält.

### DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

Diese Erfindung verwendet organisch-anorganische Hybridmaterialien als halbleitende Kanäle in Dünnschicht-FETs. Organisch-anorganische Hybridmaterialien, die Komposite von organischen und anorganischen Materialien im molekularen Maßstab beinhalten, bieten potentiell höhere Trägerbeweglichkeiten als amorphes Silicium, während sie außerdem kostengünstig und leicht aufzubringen sind. Die anorganische Komponente liefert die Eigenschaft der hohen Beweglichkeit eines kristallinen, anorganischen Halbleiters, während die organische Komponente zum Selbstaufbau des Materials entweder aus einer Lösung oder aus der Gasphase beiträgt. Die organisch-anorganischen Hybridmaterialien können durch eine Anzahl von Techniken aufgebracht werden, die Aufschleuder-, Eintauchbeschichtungs- oder thermische Verdampfungstechniken umfassen. Wie bei organischen Halbleitern sind diese Verfahren kompatibel mit den Anforderungen sowohl hinsichtlich geringer Kosten als auch großflächiger Deposition für großflächige Anwendungen. Die Niedertemperatur-Prozeßbedingungen dieser Depositionstechniken eröffnen außerdem die Möglichkeit, diese Materialien auf Kunststoffsubstraten für flexible Anwendungen aufzubringen. Im Allgemeinen können organisch-anorganische Hybridmaterialien in allen Anwendungen ersetzend eingesetzt werden, die für organische Halbleitermaterialien entwickelt wurden. Zusätzlich zur Einfachheit der Fertigung können die potentiell höheren Beweglichkeiten dieser Materialien ihre Anwendung auf Bauelemente mit höherer Geschwindigkeit ausdehnen, als es gegenwärtig mit entweder amorphem Silicium oder organischen Halbleitern möglich ist.

Die Erfindung beinhaltet einen Dünnschicht-FET mit einem organisch-anorganischen Hybridmaterial als der aktiven Halbleiterschicht. Fig. 1 stellt ein Beispiel eines organisch-anorganischen Hybridmaterials 10 dar, das auf einer dreidimensionalen Perovskit-Struktur  $\text{ABX}_3$  basiert. Die Perovskit-Struktur beinhaltet  $\text{BX}_6$ -Oktaeder 12 mit gemeinsamen Ecken. Jeder Oktaeder 12 ist durch sechs X-Anionen an den Vertices und einem B-Kation in der Mitte definiert (siehe Kristallschema 18). Die A-Kationen sitzen in den großen Lücken zwischen den Oktaedern 12.

Anorganische geschichtete Verbindungen, die auf der dreidimensionalen Perovskit-Struktur basieren, kann man sich vorstellen, indem man einen "Schnitt" einer Dicke von  $n$  Schichten ( $n = 1$  bis unendlich) entlang den  $\langle 100 \rangle$ - oder  $\langle 110 \rangle$ -Ebenen des Perovskits nimmt. In den organisch-anorganischen Hybridmaterialien werden die anionischen, anorganischen  $\text{BX}_6$ -Oktaeder der Perovskit-Lagen durch kationische, organische Moleküle 20 ladungsmäßig ausgeglichen, die alternierende Schichten bilden und/oder in den A-Kation-Zwischengitterplätzen sitzen. Beispiele für diese Materialien beinhalten B = Gruppe 14 (IV A), Übergangsmetallelemente und Elemente der seltenen Erden; X = Halogen (Cl, Br oder I) und A = organisches Ammonium- oder Diammonium-Kation. Das organische Ammonium- oder Diammonium-Kation kann aliphatisch, wie ein Alkan, oder aromatisch sein, wie in dem bereitgestellten Beispiel. Andere aromatische Moleküle beinhalten heterozyklische Moleküle. Die organischen Moleküle können isolierend, wiederum wie in dem bereitgestellten Beispiel, oder halbleitend sein, wie Oligothiophene.

Anorganische Perovskit-Lagen 12 und organische Schichten 20 sind durch starke, ionische und Wasserstoff-Bindungen gebunden. Die ionische Bindung erfordert, daß die organisch-anorganische Verbindung eine spezifische Stöchiometrie aufweist und die organischen Moleküle an gut definierten kristallographischen Stellen sitzen. Die Bin-

dung zwischen den organischen und anorganischen Schichten bewirkt, daß diese Hybridmaterialien als kristalline Dünnschichten aufgebracht werden oder als Einkristalle aufwachsen.

Fig. 2 ist ein Röntgenbeugungsmuster des organisch-anorganischen Hybridmaterials Phenethylammoniumzinniodid  $(\text{PEA})_2\text{SnI}_4$ , das in einer TFT-Bauelementstruktur aufgebracht ist. Das Vorhandensein lediglich der (001)-Reflexionen demonstriert, daß sich das Material als gut orientierter, kristalliner Dünnschicht abscheidet, wobei die organischen und anorganischen Lagen parallel (oder mit senkrechter c-Achse der Struktur) zu dem Halbleitersubstrat liegen.

Die oben beschriebenen organisch-anorganischen Perovskite ebenso wie andere organisch-anorganische Hybridmaterialien kombinieren die Vorteile eines anorganischen, kristallinen Halbleiters mit jenen eines organischen Materials. Die anorganische Komponente bildet ein ausgedehntes, anorganisches ein-, zwei- oder dreidimensionales Netzwerk, um potentiell die Eigenschaften der hohen Trägerbeweglichkeiten von anorganischen, kristallinen Feststoffen bereitzustellen. Die organische Komponente erleichtert den Selbstaufbau dieser Materialien. Dies ermöglicht, daß die Materialien durch einfache Niedertemperatur-Prozessbedingungen, wie Aufschleudern, Eintauchbeschichtung oder thermische Verdampfung, aufgebracht werden. Die organische Komponente wird außerdem dazu verwendet, die elektronischen Eigenschaften des anorganischen Netzwerks maßzuschneidern, indem sie die Dimensionalität der anorganischen Komponente und die elektronische Kopplung zwischen anorganischen Einheiten definiert.

Fig. 3 zeigt eine Querschnittsansicht einer typischen TFT-Bauelementstruktur 30. Der TFT 30 beinhaltet eine Schicht 32 aus organisch-anorganischem Hybridmaterial. Die Schicht 32 ist ein organisch-anorganischer Perovskit und dient als halbleitender Kanal zwischen Source- und Drainelektroden 34 und 36. Die Orientierung des Materials, wie aus der Röntgenstrahlbeugung ersichtlich, ist derart, daß die zweidimensionalen anorganischen Lagen 12 die elektrische Verbindung zwischen Source- und Drainelektroden 34 und 36 liefern. Die Leitfähigkeit des organisch-anorganischen Halbleiters wird über eine elektrisch isolierende Schicht 38 hinweg, wie einen dünnen  $\text{SiO}_2$ -Film, durch eine Gate-Elektrode 40 (wie eine entartet dotierte  $n^{++}$ -Siliciumschicht) moduliert, die sämtlich von dem Substrat 42 getragen sind.

Das organisch-anorganische Hybridmaterial 32 kann entweder vor oder nach der Metalldeposition der Source- und Drainelektroden 34 und 36 aufgebracht werden. Eine erst danach erfolgende Aufbringung von organisch-anorganischem Hybridmaterial 32 reduziert das Maß, in welchem das Material potentiell schädigenden, hohen Temperaturen während einer Metallisierung ausgesetzt ist.

Wenngleich Fig. 3 eine typische FET-Strukturanordnung darstellt, werden auch alternative Strukturen als innerhalb der Grenzen der Erfindung angesehen. Siehe Fig. 4, in der die jeweiligen Elemente einer alternativen FET-Struktur dargestellt und identisch zu Fig. 3 bezeichnet sind. Alternative Substrate umfassen Kunststoffe, wie Polyimid und Polycarbonat, die dazu verwendet werden können, flexible Bauelemente aufzubauen. In einer derartigen Anordnung werden strukturierte Metall-Gateelektroden auf dem Substrat entweder durch eine Schattenmaske oder durch Photolithographie aufgebracht. Der Gate-Isolator wird dann durch eines einer Vielzahl von Verfahren aufgebracht, die Aufschleudern, chemische Gasphasenabscheidung, Sputtern oder Vakuumdeposition umfassen, jedoch nicht darauf beschränkt sind. Das organisch-anorganische Hybridmaterial sowie Source- und Drain-Elektroden werden dann aufgebracht, wie oben beschrieben.

In Fig. 5 sind vorläufige Daten gezeigt, welche die gewünschte feldmodulierte Leitfähigkeit und Stromsättigung für einen TFT darstellen, der mit dem organisch-anorganischen Hybridmaterial  $(\text{PEA})_2\text{SnI}_4$  hergestellt wurde. In dem vermessenen Bauelement wurde eine  $(\text{PEA})_2\text{SnI}_4$ -Schicht von  $\sim 100 \text{ \AA}$  aus Acetonitril auf ein  $5.000 \text{ \AA}$  dickes  $\text{SiO}_2$ -Gateoxid aufgeschleudert. Der halbleitende Kanal war durch Au-Elektroden zu einer Länge von  $70 \mu\text{m}$  und einer Breite von  $1.500 \mu\text{m}$  definiert. Im Allgemeinen bilden Metalle mit hoher Austrittsarbeit, wie Au, Pd und Pt, "gute" ohmsche Kontakte zu diesem organisch-anorganischen Hybridmaterial.  $(\text{PEA})_2\text{SnI}_4$  ist ein "p-leitendes" Material, das es Löcher durch die Halbleiterschicht transportiert. Dies ist offensichtlich, da der Stromfluß durch den halbleitenden Kanal ( $I_D$ ) mit zunehmender negativer Gate-Vorspannung ( $V_G$ ) und Source-Drain-Spannung ( $V_{DS}$ ) zunimmt. Fig. 6 ist eine graphische Darstellung von  $I_{DS}$  in Abhängigkeit von  $V_{DS}$  für einen TFT mit dem organisch-anorganischen Hybridmaterial  $(\text{PEA})_2\text{SnI}_4$  als dem aktiven Halbleitermaterial, das die besten Eigenschaften zeigt, die bis heute erzielt wurden.

Fig. 7 ist eine graphische Darstellung von  $I_{DS}$  in Abhängigkeit von  $V_{DS}$  für einen TFT mit dem organisch-anorganischen Hybridmaterial, das ein Alkyldiammonium-Kation (d. h.  $\text{BDASnI}_4$  (Butyldiammoniumzinniodid)) als aktives Halbleitermaterial enthält.

Wenngleich Beweglichkeiten von  $0,06 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$  bis  $0,25 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$  niedriger als die erwarteten intrinsischen Werte sind, kommen sie bereits jenen von amorphem Silicium und jenen der besten organischen Halbleiter nahe.

Bemerkenswerterweise sind diese Beweglichkeiten höher als für aufgeschleuderte organische Halbleiter. Es wird erwartet, daß die Erzielung der höheren intrinsischen Beweglichkeiten erreichbar ist. Wenngleich Feldeffektbeweglichkeiten nicht gemessen wurden, liegen Berichte von Hall-Effekt-Beweglichkeiten im Bereich von  $\sim 1 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$  bis  $100 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$ . Wenngleich die Beziehung zwischen Hall-Beweglichkeiten und Feldeffektbeweglichkeiten komplex sein kann, wird in einer einfachen Theorie angenommen, daß sie proportional sind. Daher legen es diese hohen Hall-Effekt-Beweglichkeiten nahe, daß ähnlich hohe Feldeffekt-Beweglichkeiten erzielt werden können, die jene von amorphem Silicium übersteigen. Zusätzlich dazu, daß die organisch-anorganischen Hybridmaterialien hohe Beweglichkeiten versprechen, können sie auch durch kostengünstigere Prozesstechniken als jene aufgebracht werden, die für anorganische Feststoffe üblich sind. Die Techniken umfassen Aufschleudern, Eintauchbeschichtung oder thermische Verdampfung.

Die elektronischen Eigenschaften von organisch-anorganischen Hybridmaterialien können durch die Chemie maßgeschneidert werden. Es gibt einen weiten Bereich von organischen und anorganischen Komponenten, die als das organisch-anorganische Hybridmaterial verwendet werden können. Die einzige Anforderung für diese Anwendung besteht darin, daß eine oder beide der organischen und anorganischen Komponenten halbleitend ist/sind. Materialien mit gewünschten Eigenschaften können durch Wählen der Chemie, der Kristallstruktur und der Dimensionalität der anorganischen Komponente sowie der Länge und der chemischen Funktionalität der organischen Komponente entworfen werden. Die Flexibilität der Chemie von organisch-anorganischen Hybridmaterialien kann dazu verwendet werden, sowohl n- als auch p-leitende Transportmaterialien herzustellen, die für komplementär-logische und normale Ein- oder Aus-TFTs erwünscht sind.

Es versteht sich, daß die vorstehende Beschreibung lediglich illustrativ für die Erfindung ist. Verschiedene Alternati-

ven und Modifikationen können durch einen Fachmann ohne Abweichung von der Erfindung in Betracht gezogen werden. Demgemäß ist die vorliegende Erfindung so gedacht, daß sie alle derartigen Alternativen, Modifikationen und Variationen umfaßt, die in den Umfang der beigefügten Ansprüche fallen.

#### Patentansprüche

1. Feldeffekttransistor mit  
einem Source-Bereich und einem Drain-Bereich;  
einer Kanalschicht, die sich zwischen dem Source-Bereich und dem Drain-Bereich erstreckt, wobei die Kanalschicht ein halbleitendes, organisch-anorganisches Hybridmaterial beinhaltet;  
einem Gate-Bereich, der in beabstandeter Nachbarschaft zu der Kanalschicht angeordnet ist, und einer elektrisch isolierenden Schicht zwischen dem Gate-Bereich und dem Source-Bereich, dem Drain-Bereich und der Kanalschicht.
2. Feldeffekttransistor, wie in Anspruch 1 angegeben, wobei der Source-Bereich, die Kanalschicht und der Drain-Bereich auf einer Oberfläche eines Substrates angeordnet sind, wobei die elektrisch isolierende Schicht über der Kanalschicht angeordnet ist und sich von dem Source-Bereich zu dem Drain-Bereich erstreckt und wobei der Gate-Bereich über der elektrisch isolierenden Schicht angeordnet ist.
3. Feldeffekttransistor, wie in Anspruch 1 angegeben, wobei der Gate-Bereich als Gateschicht auf einer Oberfläche eines Substrates angeordnet ist, die elektrisch isolierende Schicht auf der Gate-Schicht angeordnet ist und der Source-Bereich, die Kanalschicht sowie der Drain-Bereich auf der elektrisch isolierenden Schicht angeordnet sind.
4. Feldeffekttransistor, wie in Anspruch 1 angegeben, wobei das organisch-anorganische Hybridmaterial ein Material ist, das besteht aus: organischen Komponenten und anorganischen Komponenten, die auf einem molekularen Niveau zusammengemischt sind, und wobei (i) das Material durch ein im wesentlichen festes Verhältnis jeder organischen Komponente zu jeder anorganischen Komponente charakterisiert ist; wobei (ii) wenigstens eine Komponente halbleitend ist; und wobei (iii) sowohl die organische als auch die anorganische Komponente Kräfte zeigen, die einen Selbstaufbau zwischen diesen in eine vorhersagbare Anordnung ermöglichen.
5. Feldeffekttransistor, wie in Anspruch 1 angegeben, wobei das halbleitende, organisch-anorganische Hybridmaterial eine anorganische Komponente mit einer kristallinen Perovskit-Struktur beinhaltet.
6. Feldeffekttransistor, wie in Anspruch 5 angegeben, wobei das halbleitende, organisch-anorganische Hybridmaterial ein Alkylmonoammonium-Kation beinhaltet.
7. Feldeffekttransistor, wie in Anspruch 5 angegeben, wobei das halbleitende, organisch-anorganische Hybridmaterial Phenethylammoniumzinniodid  $(\text{PEA})_2\text{SnI}_4$  ist.
8. Feldeffekttransistor, wie in Anspruch 5 angegeben, wobei das halbleitende, organisch-anorganische Hybridmaterial ein Alkyldiammonium-Kation beinhaltet.
9. Feldeffekttransistor, wie in Anspruch 8 angegeben, wobei das halbleitende, organisch-anorganische Hybridmaterial  $\text{BDASnI}_4$  (Butyldiammoniumzinniodid) als Halbleitermaterial ist.
10. Feldeffekttransistor, wie in Anspruch 1 angegeben,

wobei das Substrat ein flexibles Material beinhaltet.  
11. Feldeffekttransistor, wie in Anspruch 1 angegeben, wobei das Substrat ein Kunststoffmaterial beinhaltet.

---

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

---

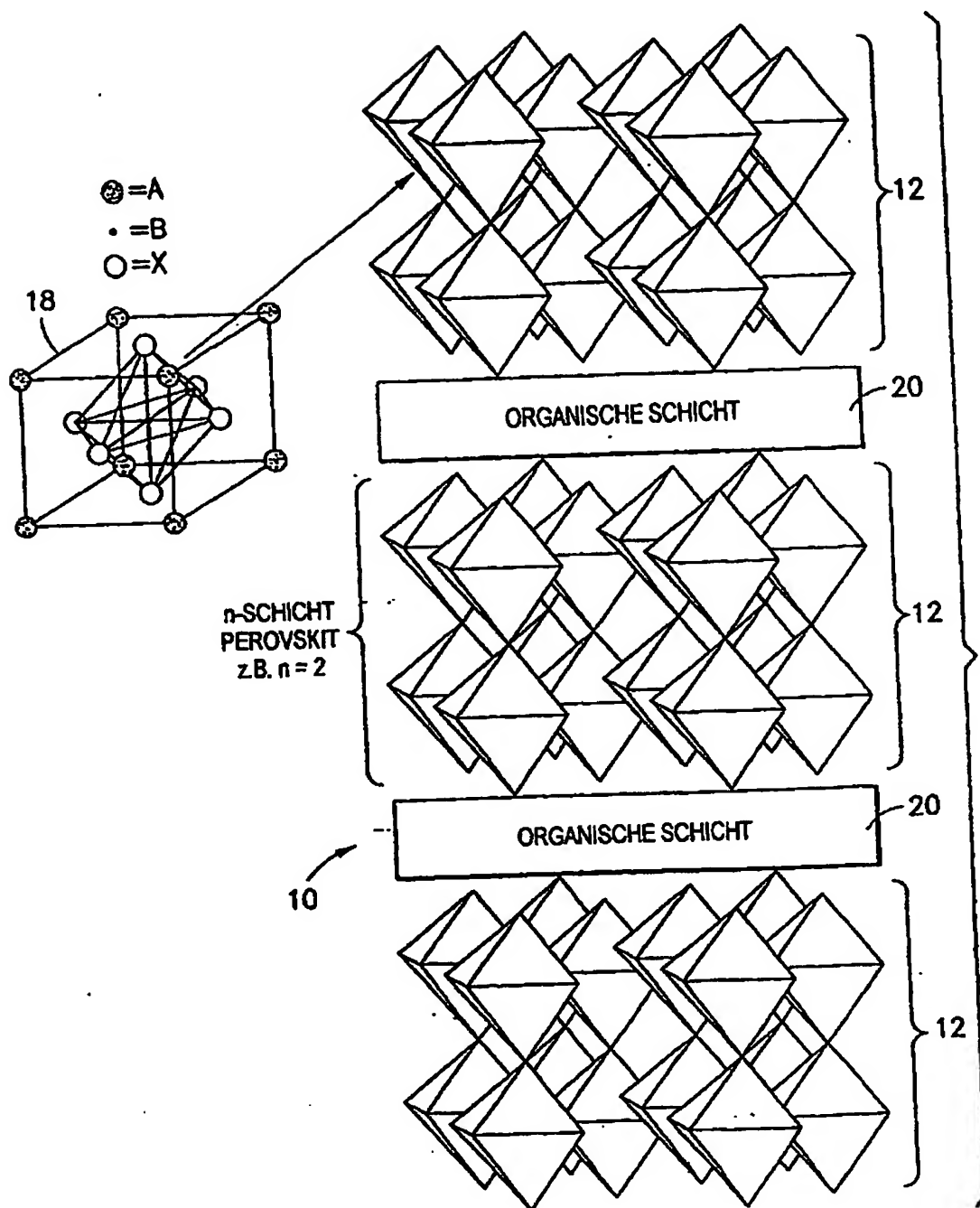


FIG. 1

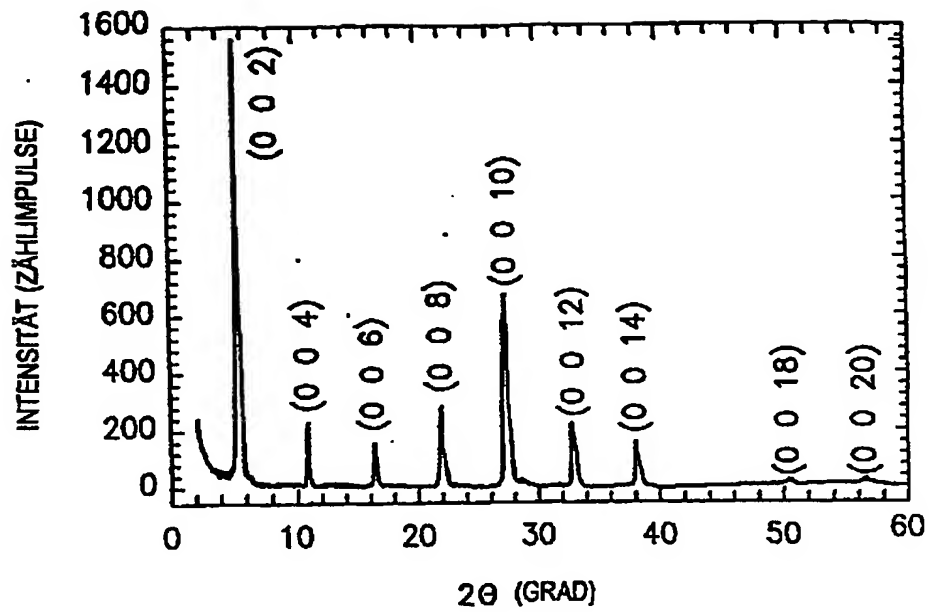


FIG.2

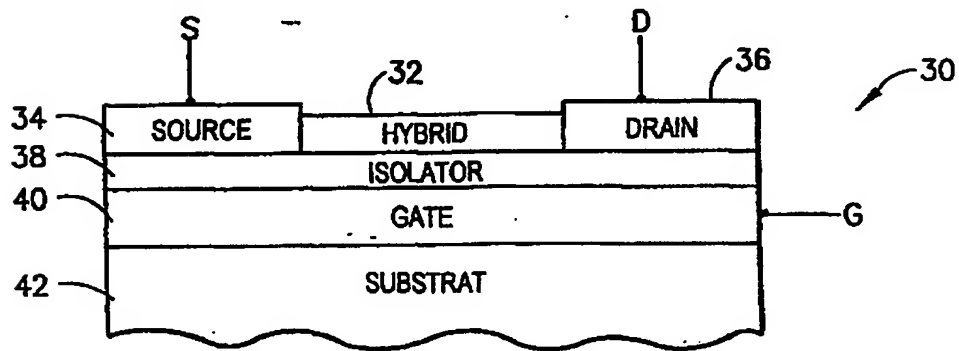


FIG.3

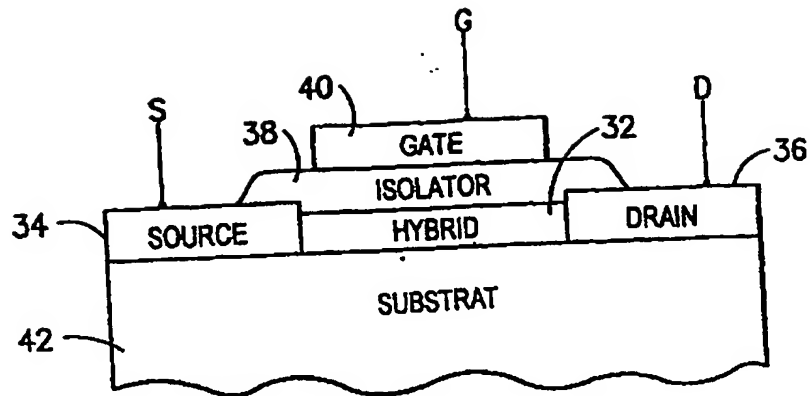


FIG. 4

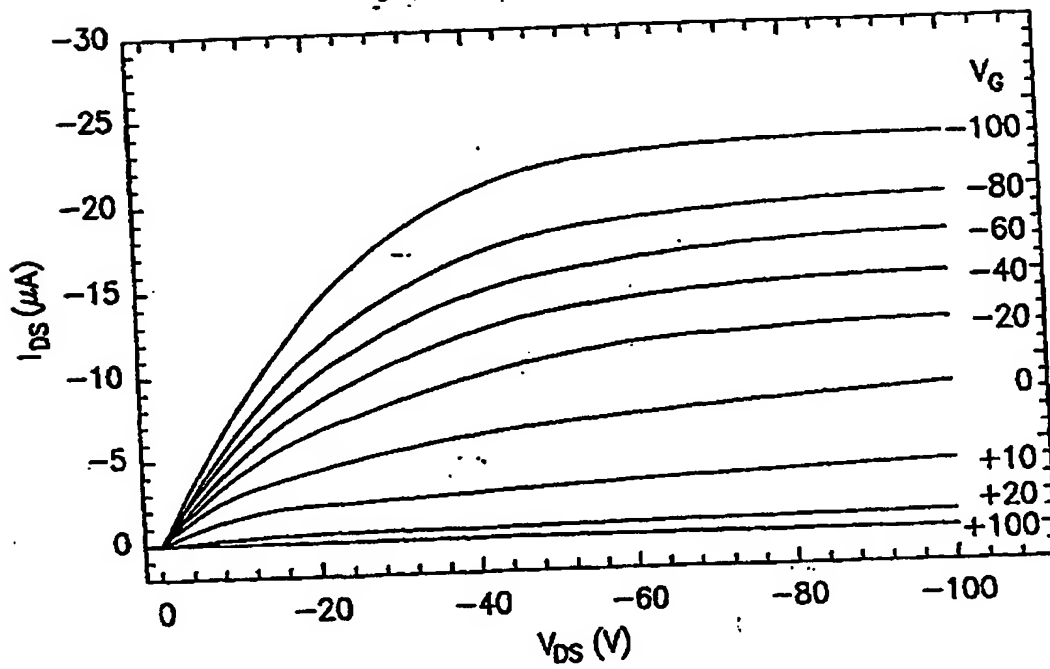
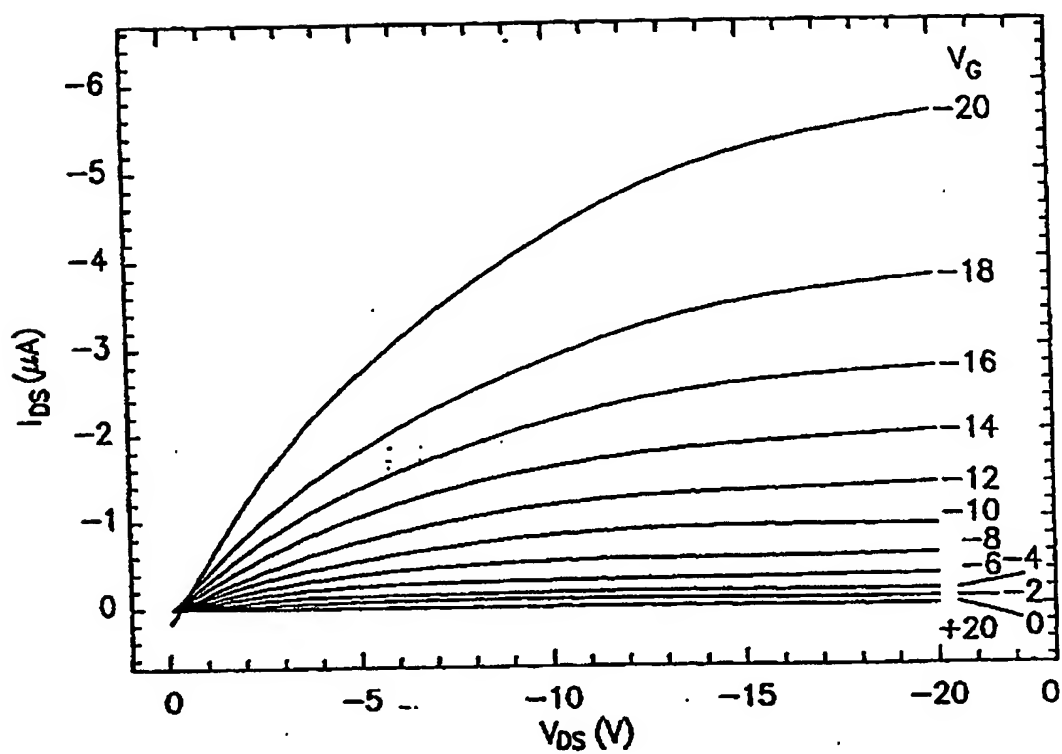


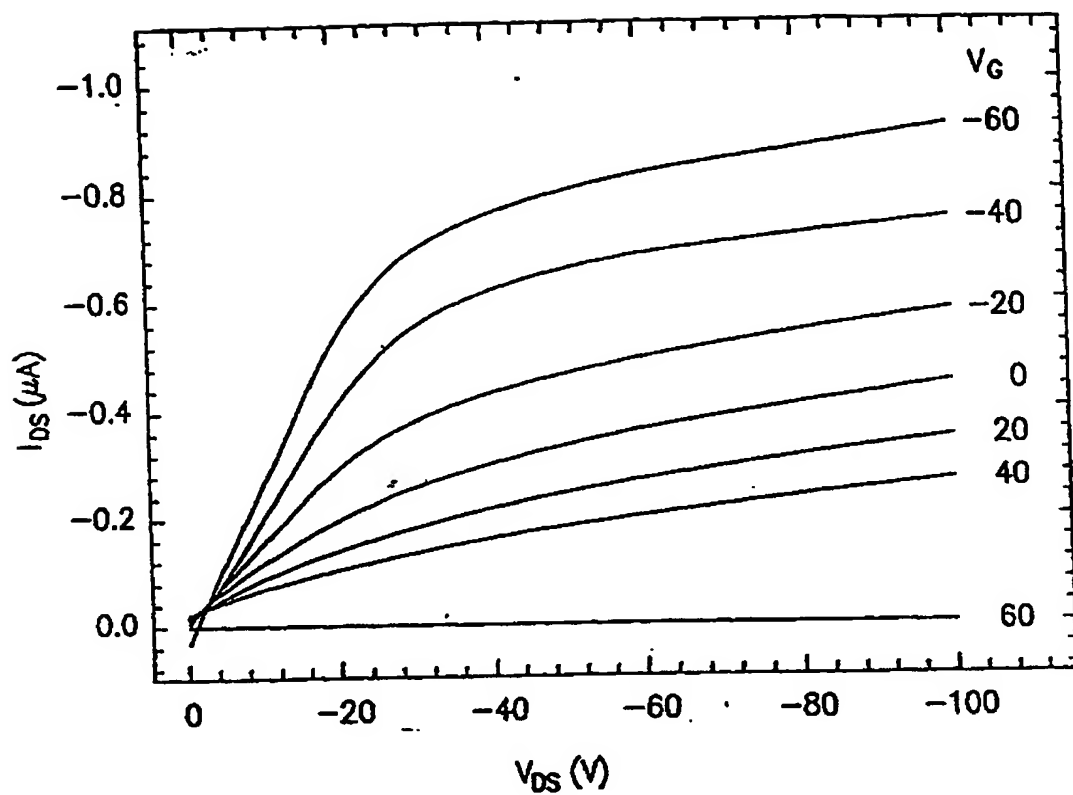
FIG. 5





(PEA)<sub>2</sub> SnI<sub>4</sub>

FIG. 6



BDA  $SnI_4$

FIG.7

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**